



*Provincia di Prato*

Area Tecnica

SERVIZIO ASSETTO E GESTIONE DEL TERRITORIO

Via Ricasoli n.25 - Prato

OGGETTO: Intervento di consolidamento strutturale del  
ponte lungo la SR325 al KM 65+900 nel  
Comune di Vaiano (PO)

- *PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO* -  
CODICE CUP: I97H20002390002

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Elisa Gorgai (Provincia di Prato)

IL PROGETTISTA

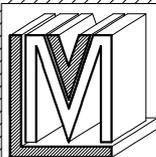
Ing. Luca Mario Vannucchi

Elaborato

STR - 03

RELAZIONE DI CALCOLO

data: Dicembre 2021



**Luca Mario Vannucchi**  
**Ingegnere**

Via G. Catani n.35 - 59100 PRATO (PO)  
Tel./Fax: 0574/603061 - cell.: 338/5414085  
mail: [lucavannucchi@hotmail.com](mailto:lucavannucchi@hotmail.com)

**Provincia di Prato**

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*

**- Progetto definitivo-esecutivo -**

---

**Indice**

□	Caratteristiche materiali esistenti del ponte .....	2
□	Analisi dei carichi.....	5
□	Verifiche.....	8
□	Risultati sintetici.....	13

□ **Caratteristiche materiali esistenti del ponte**

In base alla indagini effettuate sui materiali costituenti il ponte (arco e spalle) e alle successive considerazioni fatte in base al capitolo 8.5.3 delle NTC2018 e relativa Circolare, si sono dedotte le seguenti caratteristiche, utili per effettuare le verifiche di seguito riportate.

L'arco è realizzato in mattoni pieni e ricorsi di malta. È stato eseguito un prelievo di malta dell'arco ed analizzato, risultando una malta M2.5. Inoltre sono state effettuate delle indagini visive e un'indagine endoscopica per definire la stratigrafia dell'impalcato, da cui è risultato uno spessore della muratura di 30cm. In base a questi risultati, oltre ad aver effettuato un rilievo geometrico e un'analisi storico critica, si ritiene di aver raggiunto un livello di conoscenza **LC2** con relativo fattore di confidenza **FC=1,20**.

Le spalle sono realizzate in blocchi lapidei squadrati. È stato eseguito un prelievo di malta delle spalle, risultando una malta M2.5. Inoltre sono stati realizzati due prelievi di carote degli elementi lapidei (che hanno dato buoni valori in termini di resistenza a compressione) e una perforazione orizzontale continua che ha permesso di stabilire la dimensione delle spalle, ovvero 140cm. In base questi risultati, oltre ad aver effettuato un rilievo geometrico e un'analisi storico critica, si ritiene di aver raggiunto un livello di conoscenza **LC2** con relativo fattore di confidenza **FC=1,20**.

Vengono inoltre assunti si seguenti coefficienti di sicurezza parziali:

- Per analisi statica:  $\gamma_M = 3$
- Per analisi sismica non lineare:  $\gamma_M = 1$  (in base al punto C.7.1.3.1.1 delle NTC2018 e relativa Circolare, visto che in queste verifiche effettuiamo un'analisi non lineare, risulta corretto utilizzare il coefficiente di sicurezza parziale dei materiali uguale a 1).

Verranno pertanto utilizzati i seguenti valori, in base alla tabella C8.5.I della Circolare:

- caratteristiche delle murature nello stato di fatto, utili per eseguire il calcolo con del ponte alle condizioni attuali;
- caratteristiche delle murature nello stato rinforzato, utili per eseguire il calcolo del ponte a seguito degli interventi.

## Provincia di Prato

### Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO) - Progetto definitivo-esecutivo -

**Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:  $f$  = resistenza media a compressione,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $f_{v0}$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale,  $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,  $w$  = peso specifico medio.**

Tipologia di muratura	$f$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G$ (N/mm <sup>2</sup> )	$w$ (kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 + 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)(**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadri	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(\*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(\*\*) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(\*\*\*) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

**Tabella C8.5.II -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.**

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadri	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Fattore di difformità  $\gamma_c$ : esprime la verifica di conformità alla regola d'arte (§4.3 CNR-DT 213/2015). Grazie alle formule di riferimento e alla procedura indicata nelle linee guida CNR-DT 213, viene calcolato questo fattore attribuito, in forma moltiplicativa, al

fattore di confidenza FC per ottenerne il valore di progetto, secondo quanto specificato in §8.1.2 delle CNR-DT 213. Nel programma di calcolo verrà esplicitato questo valore sia per l'arco che per i piedritti ed andrà a correggere il fattore FC.

### **Murature stato di fatto**

Le caratteristiche della muratura assunte a base di calcolo sono quindi:

#### Arco

- Coefficienti correttivi: 1,38 (Malta buona; si considera dalle prove effettuate sulla malta che hanno dato un valore M2.5, da cui  $2,5^{0,35}=1,38$ ).
- $F_{md}$  (resistenza di progetto a compressione: si assume il valore medio di  $f$  della tabella) =  $(3,45 \times 1,38) / (1,35 \times 3) = 1,322 \text{N/mm}^2$
- $W$  (peso specifico) =  $18,00 \text{ kN/m}^3$

#### Spalle

- Coefficienti correttivi: 1,20 (malta buona); 1,20 (connessione trasversale)
- $F_{md}$  (resistenza di progetto a compressione: in base alle prove realizzate sui campioni di spalle è stata ottenuta una resistenza a compressione dei provini di circa  $80 \text{N/mm}^2$ ; pertanto risultata corretto assumere un valore medio di  $f$ ) =  $(7,00 \times 1,2 \times 1,2) / (1,20 \times 3) = 2,80 \text{N/mm}^2$ ;
- $W$  (peso specifico) =  $22,00 \text{ kN/m}^3$

### **Murature stato rinforzato**

Le caratteristiche della muratura assunte a base di calcolo sono quindi:

#### Arco (spessore maggiorato di 5cm dovuto allo strato di malta di calce e rete in fibra di vetro)

- Coefficienti correttivi: 1,25 (Intonaco armato solo da un lato); 1,20 (iniezioni di miscele leganti); 1,20 (ristilatura armata); si assume il massimo coefficiente consentito: 1,80
- $F_{md}$  (resistenza di progetto a compressione) =  $(3,45 \times 1,8) / (1,20 \times 3) = 1,533 \text{N/mm}^2$ ;
- $W$  (peso specifico) =  $18,00 \text{ kN/m}^3$

#### Spalle (spessore maggiorato di 5cm dovuto allo strato di malta di calce e rete in fibra di vetro)

- Coefficienti correttivi: 1,20 (malta buona); 1,20 (connessione trasversale)
- $F_{md}$  (resistenza di progetto a compressione: in base alle prove realizzate sui campioni di spalle è stata ottenuta una resistenza a compressione dei provini di circa  $80 \text{N/mm}^2$ ;

pertanto risulta corretto assumere un valore medio di  $f = (7,00 \times 1,2 \times 1,2) / (1,20 \times 3) = 2,80 \text{ N/mm}^2$ ;

- W (peso specifico) =  $22,00 \text{ kN/m}^3$

#### □ Analisi dei carichi

##### ***Pesi propri strutturali e carichi permanenti:***

Peso proprio arco:	18,00 kN/m <sup>3</sup>
Peso proprio spalle:	22,00 kN/m <sup>3</sup>
Peso proprio rinfiacco:	18,00 kN/m <sup>3</sup>
Peso proprio sottofondo in misto stabilizzato (sp.100cm)	18,00 kN/m <sup>3</sup>
Peso proprio pavimentazione stradale (sp.20cm):	20,00 kN/m <sup>3</sup>

##### ***Azioni variabili da traffico (NTC2018):***

Le azioni variabili considerate nei calcoli sono quelle previste dalle NTC2018 per i ponti classificati di prima categoria.

Il calcolo viene effettuato sulla porzione di ponte dove le spalle sono più alte (ovvero nella parte lato valle). Si considera una larghezza della carreggiata di 6,00 metri e pertanto due corsie convenzionali da 3,00 metri ciascuna.

1° colonna di carico:

- Q <sub>1K</sub> 2 assi disposti come da schema	2x300 kN
- q <sub>1K</sub> carico uniformemente distribuito	9,00 kN/m <sup>2</sup>

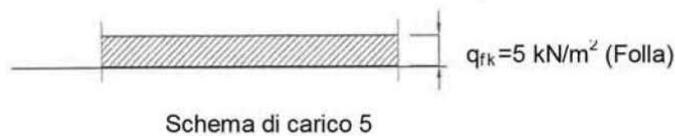
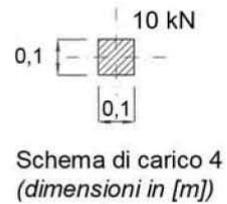
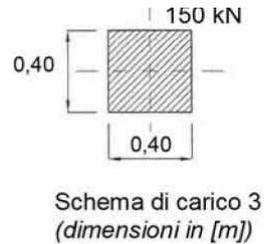
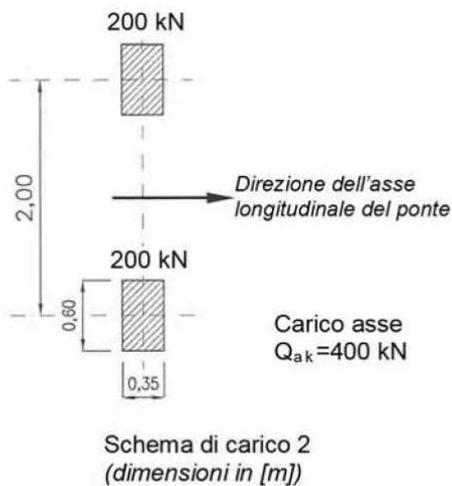
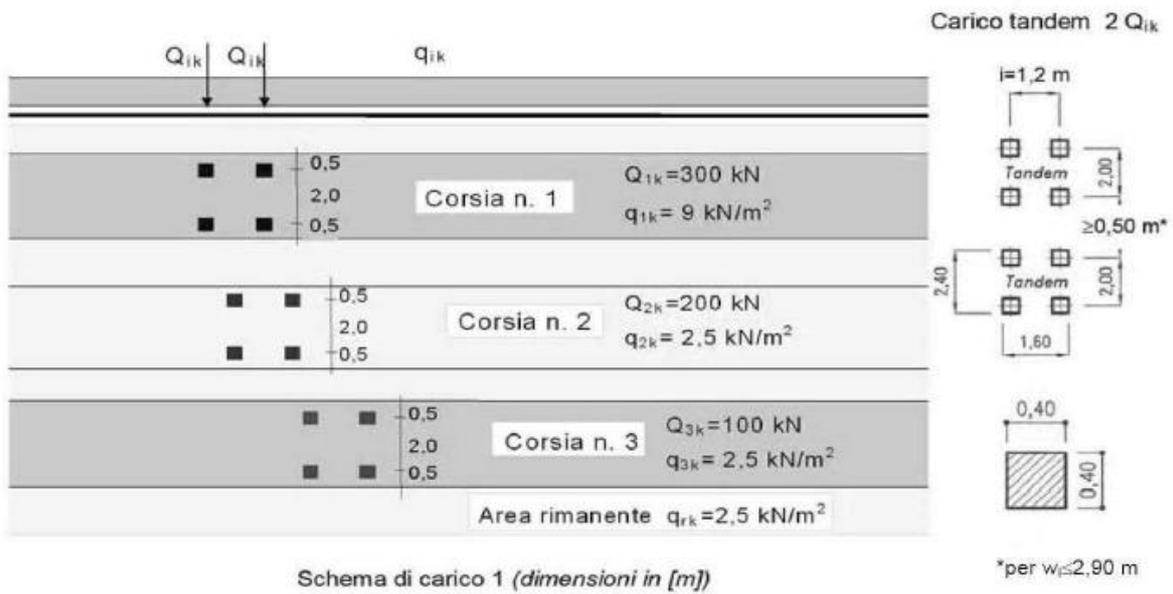
2° colonna di carico:

- Q <sub>2K</sub> 2 assi disposti come da schema	2x200 kN
- Q <sub>2K</sub> carico uniformemente distribuito	2,50 kN/m <sup>2</sup>

Le suddette colonne di carico andranno disposte secondo lo schema longitudinale che produce le azioni accidentali maggiormente gravose per la struttura in esame.

**Provincia di Prato**

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*  
**- Progetto definitivo-esecutivo -**



*Schemi di carico su ponte stradale secondo D.M. 17.1.2018*

Viene considerata anche l'azione longitudinale di frenamento.

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

## Provincia di Prato

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

### - Progetto definitivo-esecutivo -

essendo  $w_l$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

#### **Verifiche: SLU (EQU STR) Approccio 1 - Coefficienti Parziali:**

- Pesi propri e Permanenti Strutturali  $\gamma_{G1}=0,9$  e  $1,10$
- Azioni variabili da traffico  $\gamma_Q=1.35$

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tab. 5.1.V del D.M. 17.1.2018 (ponti stradali)

#### Combinazioni di carico:

I carichi vengono discretizzati ed applicati utilizzando la seguente combinazione di carico:

Combinazione di carico 1 SLU:  $\gamma_{G1}G + \gamma_{QQ}$  con  $\gamma_{G1} = 0,9$  e  $\gamma_Q = 0$

Combinazione di carico 2 SLU:  $\gamma_{G1}G + \gamma_{QQ}$  con  $\gamma_{G1} = 0,9$  e  $\gamma_Q = 1.35$

Combinazione di carico 3 SLU:  $\gamma_{G1}G + \gamma_{QQ}$  con  $\gamma_{G1} = 1,1$  e  $\gamma_Q = 1.35$

#### **Carichi ponte epoca di costruzione:**

Come riportato nelle "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" – Maggio 2020", verrà fatta inizialmente anche la verifica con i carichi presunti dell'epoca con cui è

stato costruito il manufatto in oggetto. Nel nostro caso la Normativa di riferimento dell'epoca è la "Normale n. 8 del 14.09.1933":

Per strade di tipo 1°

- 1.1. Due treni tipo (schema 1°, Figura 5.1) indefiniti di autocarri del peso totale di 12 tonnellate affiancati e, contemporaneamente, folla compatta 400 kg/m<sup>2</sup> sui marciapiedi;
- 1.2. Un treno tipo (schema 1°, Figura 5.1) indefinito di autocarri del peso di 12 tonnellate e un treno tipo (schema 2°) con veicoli di peso massimo 40 tonnellate affiancati e contemporaneamente folla compatta 400 kg/m<sup>2</sup> sui marciapiedi;
- 1.3. Folla compatta 400 kg/m<sup>2</sup> su tutta la larghezza del ponte.

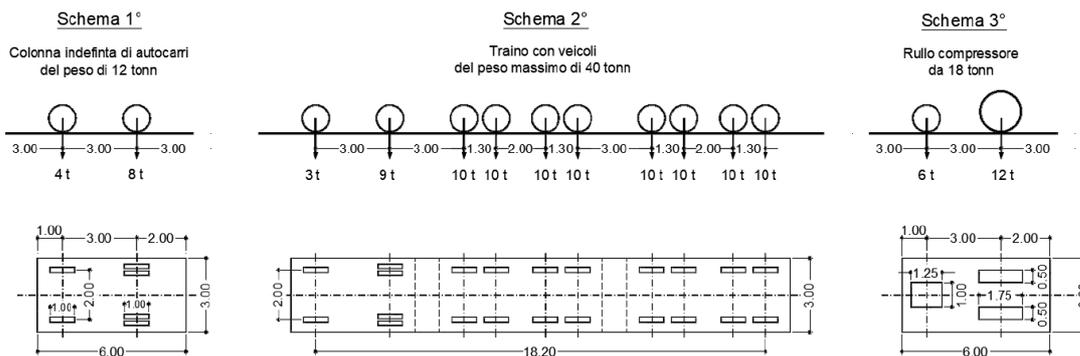


Figura 5.1 - Schemi di carico previsti dalla Normale n. 8 del 1933

Combinazioni di carico:

I carichi vengono discretizzati ed applicati utilizzando la seguente combinazione di carico:

Combinazione di carico 1 SLU:  $\gamma G1G + \gamma QQ$  con  $\gamma G1 = 1$  e  $\gamma Q = 0$

Combinazione di carico 2 SLU:  $\gamma G1G + \gamma QQ1$  con  $\gamma G1 = 1$  e  $\gamma Q = 1$

Combinazione di carico 3 SLU:  $\gamma G1G + \gamma QQ2$  con  $\gamma G1 = 1$  e  $\gamma Q = 1$

□ Verifiche

Le ipotesi di base per l'analisi limite dell'arco murario elementare rappresentativo della volta in esame, consistono nell'adozione di un modello discreto per il quale la struttura viene suddivisa in elementi finiti (conci ideali) e viene considerato un

comportamento rigido dei conci ed un comportamento rigido fessurante dei giunti di collegamento.

La metodologia di analisi si fonda sugli studi di Jacques Heyman, in accordo con le più avanzate ricerche del settore e supportata da indagini sperimentali.

La struttura ad arco viene studiata considerandola composta da componenti rigidi, i conci, in grado di trasmettersi, attraverso le interfacce, soltanto sforzi di compressione. Viene in tal modo scritta una relazione complessiva di equilibrio, e tra le infinite soluzioni si ricerca l'esistenza di almeno una compatibile con le condizioni al contorno (curva delle pressioni interna alla sagoma dell'arco): se esiste, l'arco è stabile. Se nel corso dell'analisi le condizioni di equilibrio determinano in una sezione la fuoriuscita della curva delle pressioni dalla geometria dell'arco, viene introdotta una cerniera che determina la tangenza della curva (in intradosso o in estradosso, a seconda dei casi). Per passi iterativi è quindi possibile ricercare una condizione di equilibrio compatibile con l'assenza di trazioni nella muratura. Qualora le cerniere siano introdotte in numero tale da determinare la formazione di un cinematismo (meccanismo di collasso) oppure più in generale non possano garantire una curva delle pressioni in equilibrio con i carichi, l'arco risulta instabile e quindi il controllo di sicurezza, sotto l'azione dei carichi applicati, non è soddisfatto.

Si riportano di seguito le analisi eseguite, tenuto conto delle risultanze delle indagini, mediante il programma di calcolo automatico SAV "Stabilità di Archi e Volte" Vers. 2021 della Aedes.

Aedes.SAV gestisce l'analisi di ponti esistenti in muratura, di tipo stradale o ferroviario, conformemente alla Normativa vigente: D.M. 17.1.2018 e Circolare 7 del 21.1.2019 (nel seguito: NTC18), CNR-DT 213/2015 (nel seguito: CNR-DT213). I documenti normativi specifici di riferimento sui ponti esistenti in muratura sono i seguenti:

- CNR-DT 213/2015: "Istruzioni per la Valutazione della Sicurezza Strutturale di Ponti Stradali in Muratura".

Questo documento contiene al suo interno numerosi riferimenti ai ponti ferroviari, e pertanto, anche se il titolo fa riferimento ai ponti stradali, le indicazioni ivi riportate vengono tenute presenti anche per i ponti ferroviari (definizione degli stati limite, conformità alla regola dell'arte, fattori di degrado, ecc.)

- Normativa RFI, Rete Ferroviaria Italiana:
  - ✓ RFI DTC INC PO SP IFS 001A. Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori ferroviarie sotto binario
  - ✓ RFI DTC INC CS SP IFS 001 A, Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviaria
  - ✓ RFI DIN ICI LG IFS 001 A, Linea Guida per la verifica strutturale dei ponti ad arco in muratura

Il ponte oggetto del presente studio è un ponte stradale. Dati e risultati sono descritti nel tabulato di calcolo. Alcune ipotesi di rilievo sono le seguenti.

- Il metodo di Aedes.SAV consiste nell'analisi limite della struttura in muratura, sottoposta ai carichi permanenti e alle azioni variabili da traffico, schematizzate secondo la Normativa vigente. Nelle descrizioni seguenti, ad esempio nelle Combinazioni di Condizioni di Carico, è riportato il riferimento alle verifiche agli Stati Limite Ultimi secondo l'approccio EQU, coerente con l'analisi limite.
- Le verifiche previste riguardano l'arcata e i piedritti (spalle o pile; solo spalle nel caso del ponte monocampata) e sono le seguenti: perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte (verifica di stabilità); raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti o dell'insieme della struttura (verifiche di resistenza a compressione e ad attrito); raggiungimento dei meccanismi di collasso dei terreni.  
In analisi sismica viene inoltre esaminato il meccanismo di collasso del timpano, completando in tal modo l'analisi per componenti suggerita dalla CNR-DT 213 (§9).
- Lo stato limite EQU, in analisi limite, incorpora anche la verifica allo stato limite STR (stato limite di resistenza della struttura, compresi gli elementi di fondazione) (vd. §3.5.1 CNR DT-213).
- Nella verifica statica, le Combinazioni di Condizioni di Carico (combinazioni fondamentali: D.M. 17.1.2018, [2.5.I] in §2.5.3) sono definite in base alla massimizzazione degli effetti riguardanti sia la verifica di stabilità, per la quale i carichi permanenti sono favorevoli mentre i variabili sono posti in posizione

sfavorevole - ad es. traffico su metà luce del ponte, sia la verifica di resistenza (per la compressione: tutti i carichi sono sfavorevoli); ne consegue l'adozione di opportuni coefficienti secondo la Tab. 5.1.V, colonna EQU, del D.M. 17.1.2018. Poiché la verifica del ponte, come richiesto dalla CNR-DT 213, deve essere articolata in due fasi: sotto il carico permanente, e sotto il permanente + i carichi variabili, viene considerata anche la combinazione con i soli carichi permanenti.

- La verifica sismica è condotta con la Combinazione Carico prevista dal D.M. 17.1.2018: [2.5.5] in §2.5.3, secondo  $+X$  e  $-X$ , essendo  $X$  la direzione orizzontale corrispondente al piano della struttura (arco + piedritti). La verifica sismica include anche la verifica del timpano, sotto l'ipotesi di azione sismica in direzione trasversale al piano della struttura. Data la limitata luce del ponte, nel presente progetto non sono stati considerati effetti sismici verticali.
- La spinta del terreno viene modellata come più avanti descritto, sia in analisi statica sia in analisi sismica ed è applicata alle spalle.
- La verifica di conformità alla regola dell'arte (§4.3 CNR-DT 213) è stata eseguita definendo distintamente per arco e spalle il fattore di difformità  $\gamma_C$  che influisce sul fattore di confidenza  $FC$ .
- E' stata inoltre presa in considerazione la rappresentazione del degrado attraverso il coefficiente  $\gamma_D$  di riduzione delle resistenze (§6.5.4 CNR-DT 213): nel caso specifico non si ravvisa un degrado significativo, e si è posto  $\gamma_D=1.00$ .
- È stata valutata la resistenza a compressione del materiale murario e nello stato di progetto si indicherà il suo miglioramento rispetto allo stato di fatto attraverso la realizzazione della cappa in intradosso sull'arco.
- E' stata eseguita la verifica ad attrito per la sicurezza nei confronti dell'eventuale scivolamento dei conci, sia nell'arco sia nelle spalle.
- In analisi sismica, il fattore di comportamento  $q$  adottato per l'analisi cinematica lineare delle spalle e dell'arcata è pari a 2.0 (§C8.7.1.2.1.7), mentre per il timpano, considerando la tab. C7.2.1 in §C7.2.3, a favore di sicurezza, si è optato per  $q=1.5$ .
- L'esito della verifica di sicurezza sismica consiste nell'indicatore di rischio sismico  $\xi_E$ , definito in termini di PGA e calcolato come rapporto fra capacità e

domanda: per i ponti esistenti in muratura il livello di adeguamento sismico è dato da  $\xi E \geq 0.800$  (§C.8.8.7).

- In accordo con la Provincia di Prato, è stata considerata una Classe d'uso II, un Coefficiente d'uso della costruzione (§2.4.2, 2.4.3)  $CU = 1$ , una Vita Nominale  $VN$  (§2.4.1) = 50 anni e una Vita di Riferimento (§2.4.3)  $VR = VN * CU = 50$  anni. Si fa presente che il ponte in questione risulterebbe verificato anche con una Classe d'uso III.

Si riporta qui di seguito i risultati sintetici delle verifiche effettuate nelle seguenti tre ipotesi:

- stato di fatto con carichi del ponte dell'epoca della costruzione;
- stato di fatto - azioni variabili da traffico (NTC2018);
- stato rinforzato - azioni variabili da traffico (NTC2018).

Nei tabulati di calcolo allegati verranno riportati tutti calcoli e le verifiche effettuate.

Dai risultati è possibile vedere che il ponte, con i carichi dell'epoca di costruzione risulta verificato (l'arco e i piedritti risultano stabili e la compressione degli elementi arco e dei piedritti risulta verificata).

Utilizzando invece i carichi della normativa attuale (NTC2018) risulta che, nella configurazione dello stato di fatto il ponte risulta stabile. La compressione delle muratura risulta verificata nei piedritti ma non nell'arco.

A seguito degli interventi di progetto ipotizzati si può notare come il ponte risulti verificato sia da un punto di vista della stabilità che in termini di compressione della muratura nei piedritti e nell'arco.

Risulta sempre verificata in tutti le ipotesi di calcolo la verifica di attrito (taglio nei giunti).

□ **Risultati sintetici**

**Stato di fatto con carichi del ponte dell'epoca di costruzione**

*Condizioni di carico elementari*

N°	Commento	Psi.2 (quasi perm.)	P.p. volta	P.p. rinf.sx	P.p. rinf.dx	P.p. sottof.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	Carichi concentrati	Car.aggiuntivi sui piedritti
1	▶ Permanenti strutturali e non strutturali	1.00	✓	✓	✓	✓	✓				
2	Azioni variabili da traffico stradale: SCHEMA 2 - traino con veicoli del peso massimo di 40 tonnellate (schema eccentrico)	0.00	■	■	■	■	■				
3	Folla compatta (400 kg/mq) su tutta la larghezza del ponte	0.00	■	■	■	■	■				

*Combinazione delle Condizioni di carico elementari*

N°	Commento	Molt.CCE n° 1	Molt.CCE n° 2	Molt.CCE n° 3
1	▶ Solo permanenti in assenza di traffico: stabilità	1.00	0.00	0.00
2	Permanenti + carico concentrato	1.00	1.00	0.00
3	Permanenti + carico distribuito	1.00	0.00	1.00

L'arco e i piedritti risultano stabili in tutte e 3 le combinazioni di carico (sia a livello statico che sismico).

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

**Arco Ideale: 1 (1)**

---

**ANALISI STATICA**

**CCC 1 (3)**  
**Verifica Soddisfatta**

Moltiplicatore verticale di collasso dell'arco:

- per la CCC 1:	<b>n.d.</b>
- min. fra tutte le CCC:	<b>1.620</b>

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	n.d.		
Attrito (Taglio nei giunti)	n.d.		
Compressione della muratura	n.d.		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

**Info** Moltiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:

**+X= 0.626, -X= 0.626**

Volta: +X= 0.626, -X= 0.626

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.975	0.975	0.168	0.316	0.316	0.168	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.626	0.626	0.200	0.975	0.975	0.200	
Compressione della muratura	0.975	0.975	0.165	0.313	0.313	0.165	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**

domanda:  
PGA,DLV = 0.215 g  
TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	Indicatore di Rischio Sismico		Indicatore di Rischio Sismico	
	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.292	2118	1.359	4.459
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

target = 0.800

OK

Il risultato n.d. (non disponibile) indica che i carichi considerati nella combinazione delle condizioni di carico non sono affetti da moltiplicatore. Infatti si tratta dei soli pesi propri.

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

**Arco Ideale: 1 (1)**

---

**ANALISI STATICA**

**CCC 2 (3)**  
**Verifica Soddisfatta**

**Info** Multiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 2: **1.620**  
 - min. fra tutte le CCC: **1.620**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	>> 1		
Attrito (Taglio nei giunti)	>> 1		
Compressione della muratura	1.620		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

**Info** Multiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.626, -X= 0.626**  
 Volta: +X= 0.626, -X= 0.626

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.975	0.975	0.168	0.316	0.316	0.168	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.626	0.626	0.200	0.975	0.975	0.200	
Compressione della muratura	0.975	0.975	0.165	0.313	0.313	0.165	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**  
 domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.292	2118	1.359	4.459
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

**Indicatore di Rischio Sismico**  $\zeta_E$   
 target = 0.800

OK

Provincia di Prato

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

---

**Arco Ideale: 1 (1)**

**ANALISI STATICA**

**CCC 3 (3)**  
**Verifica Soddisfatta**

Moltiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 3: **n.d.**  
 - min. fra tutte le CCC: **1.620**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	n.d.		
Attrito (Taglio nei giunti)	n.d.		
Compressione della muratura	n.d.		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

Moltiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.626, -X= 0.626**  
 Volta: +X= 0.626, -X= 0.626

Tipo di Verifica	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.975	0.975	0.168	0.316	0.316	0.168	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.626	0.626	0.200	0.975	0.975	0.200	
Compressione della muratura	0.975	0.975	0.165	0.313	0.313	0.165	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**  
 domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	Indicatori di Rischio Sismico	
			PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.292	2118	1.359	4.459
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

target = 0.800

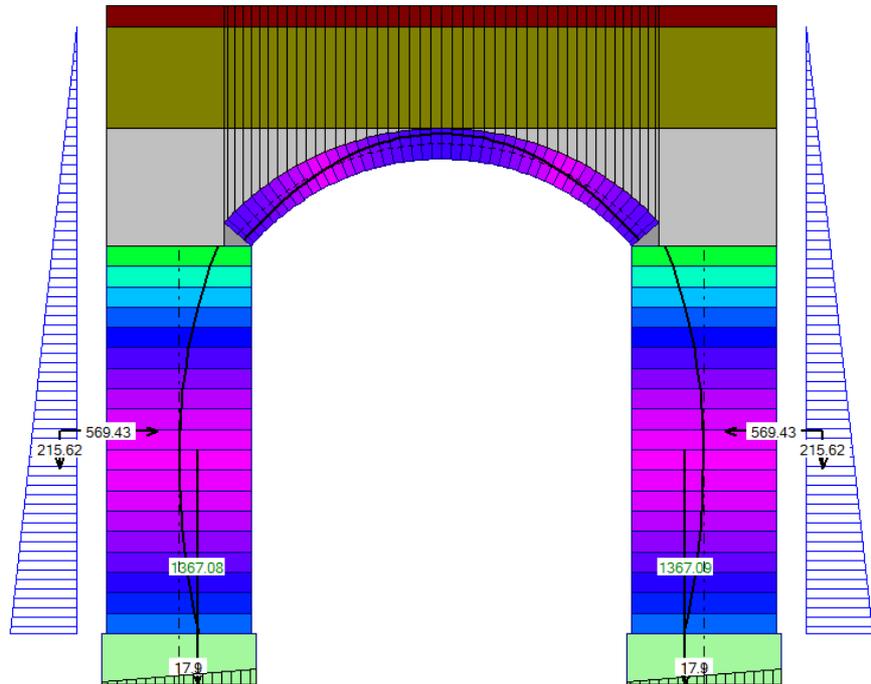
OK

# Provincia di Prato

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)  
- Progetto definitivo-esecutivo -

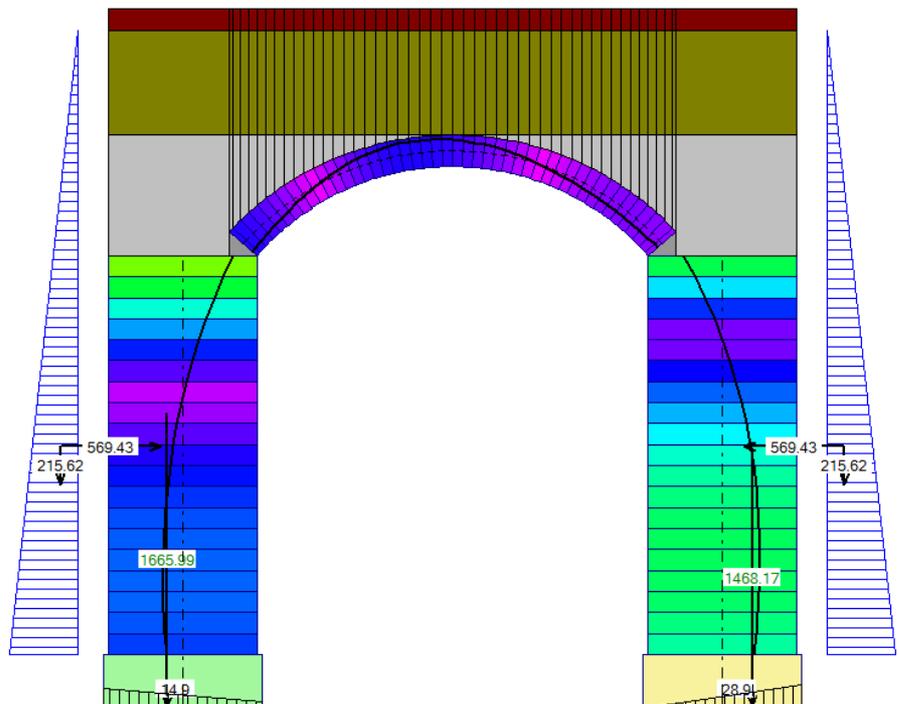
## Curva delle pressioni: Combinazione di carico 1

Curva delle Pressioni  
Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (3)  
Arco ideale corrente: 1 (1)  
Passo di iterazione: max



## Curva delle pressioni: Combinazione di carico 2

- Curva delle Pressioni  
- Combinazione di Condizioni di Carico: 2 (3)  
- Arco ideale corrente: 1 (1)  
- Passo di iterazione: max

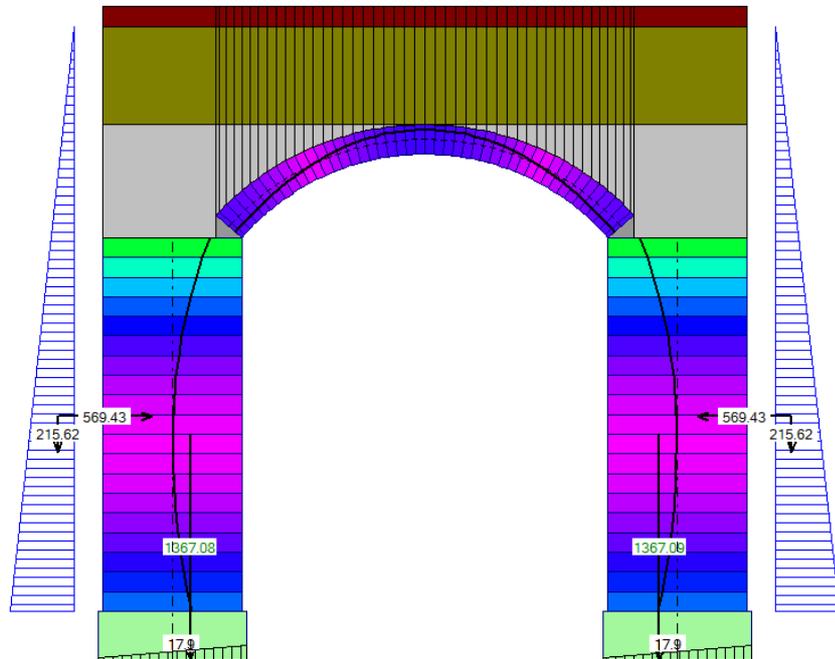


## Provincia di Prato

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*  
**- Progetto definitivo-esecutivo -**

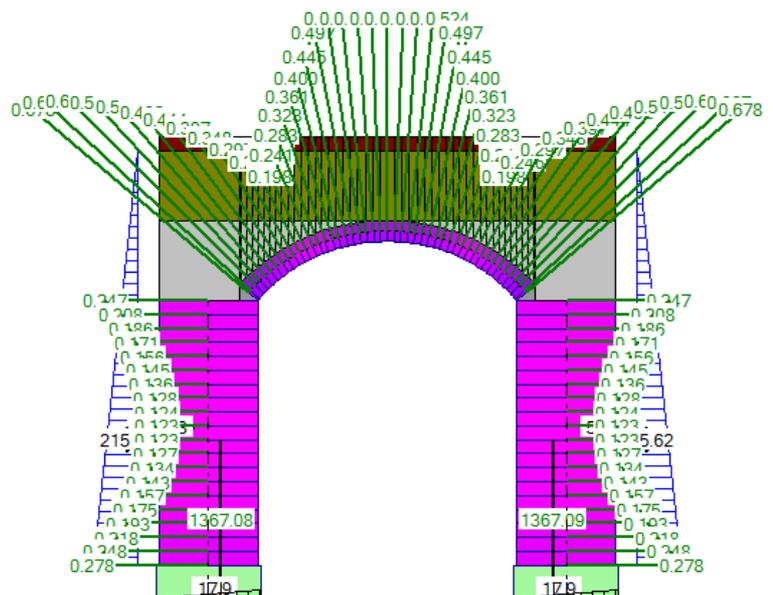
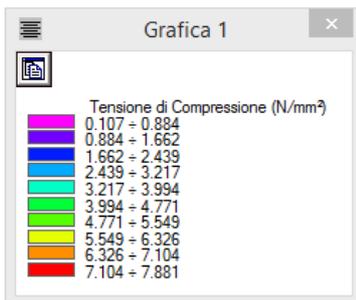
### Curva delle pressioni: Combinazione di carico 3

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 3 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



### Tensioni di compressione: Combinazione di carico 1

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



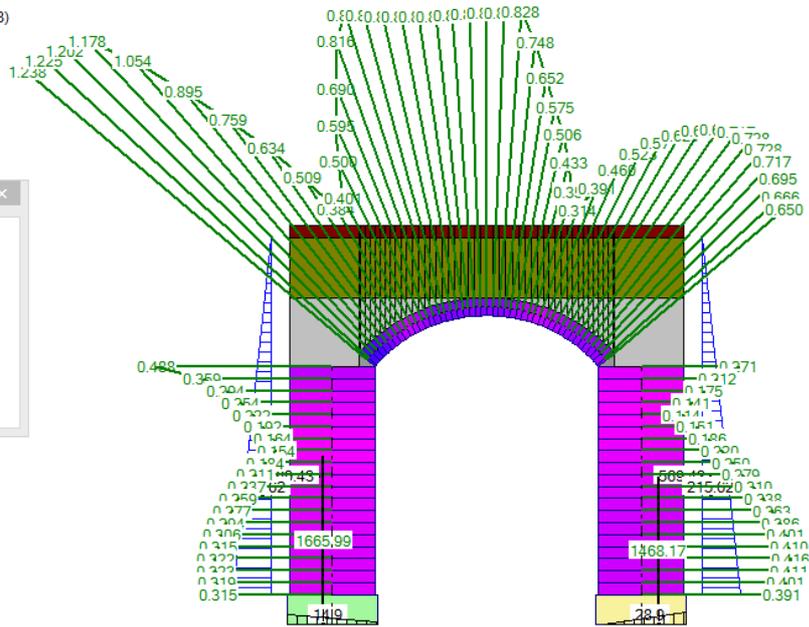
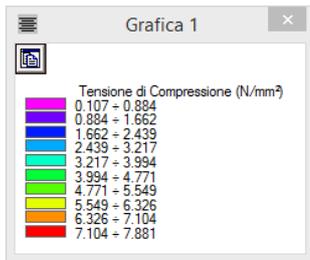
$s_{max} = 0.260 \text{ N/mm}^2$  [interam.compressa]     $s_{max} = 0.260 \text{ N/mm}^2$  [interam.compressa]  
 $N = 1367.08 \text{ kN}$ ,  $T = 299.82 \text{ kN}$                        $N = 1367.09 \text{ kN}$ ,  $T = 299.82 \text{ kN}$   
 $M = 244.17 \text{ kNm}$ , ecc. =  $17.9 \text{ cm}$  [Lx / 8.4]                       $M = 244.17 \text{ kNm}$ , ecc. =  $17.9 \text{ cm}$  [Lx / 8.4]

## Provincia di Prato

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*  
**- Progetto definitivo-esecutivo -**

### Tensioni di compressione: Combinazione di carico 2

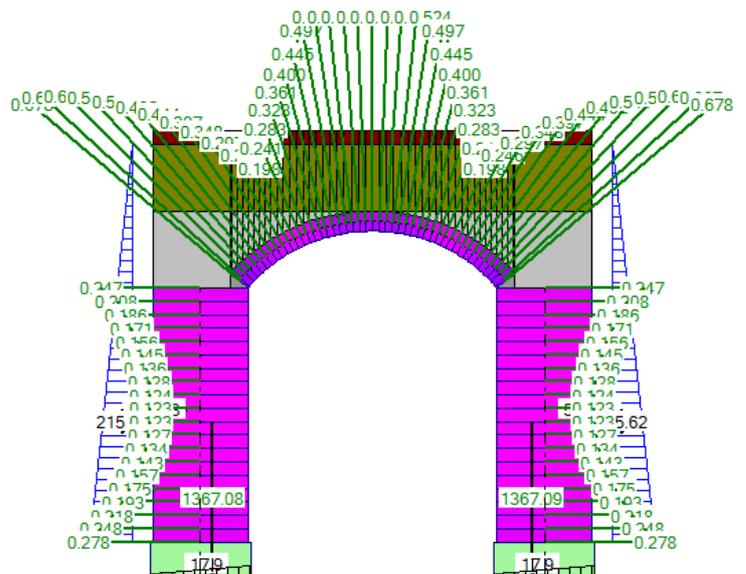
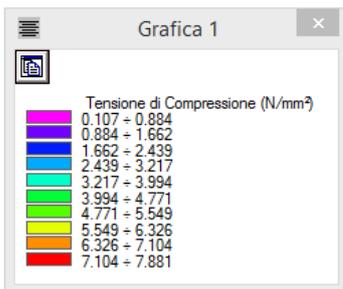
- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 2 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



$s_{max} = 0.295 \text{ N/mm}^2$  [interam.compressa]       $s_{max} = 0.354 \text{ N/mm}^2$  [parzializzata]  
 $N = 1665.99 \text{ kN}$ ,  $T = 116.47 \text{ kN}$        $N = 1468.17 \text{ kN}$ ,  $T = 116.47 \text{ kN}$   
 $M = -248.02 \text{ kNm}$ , ecc. = -14.9 cm [Lx / 10.1]       $M = -424.37 \text{ kNm}$ , ecc. = -28.9 cm [Lx / 5.2]  
 zona reag. = 138.3 cm

### Tensioni di compressione: Combinazione di carico 3

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 3 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



$s_{max} = 0.260 \text{ N/mm}^2$  [interam.compressa]       $s_{max} = 0.260 \text{ N/mm}^2$  [interam.compressa]  
 $N = 1367.08 \text{ kN}$ ,  $T = 299.82 \text{ kN}$        $N = 1367.09 \text{ kN}$ ,  $T = 299.82 \text{ kN}$   
 $M = 244.17 \text{ kNm}$ , ecc. = 17.9 cm [Lx / 8.4]       $M = 244.17 \text{ kNm}$ , ecc. = 17.9 cm [Lx / 8.4]

**Provincia di Prato**

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*  
**- Progetto definitivo-esecutivo -**

**Stato di fatto - azioni variabili da traffico (NTC2018)**

*Condizioni di carico elementari*

N°	Commento	Psi.2 (quasi pem.)	P.p. volta	P.p. rinf.sx	P.p. rinf.dx	P.p. sottof.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	Carichi concentrati	Car. aggiuntivi sui piedritti
1	Permanenti strutturali e non strutturali	1.00	✓	✓	✓	✓	✓				
2	Azioni variabili da traffico stradale: carichi concentrati in posizione eccentrica	0.00	■	■	■	■	■				
3	Azioni variabili da traffico stradale: carichi concentrati in posizione centrale	0.00	■	■	■	■	■				
4	Azioni variabili da traffico stradale: carichi distribuiti	0.00	■	■	■	■	■				
5	Azione di frenamento	0.00	■	■	■	■	■				

*Combinazione delle Condizioni di carico elementari*

N°	Commento	Molt.CCE n° 1	Molt.CCE n° 2	Molt.CCE n° 3	Molt.CCE n° 4	Molt.CCE n° 5
1	Solo permanenti in assenza di traffico: stabilità	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Permanenti (favorevoli) + Traffico eccentrico: concentrati sfavorevoli (1.35) e distribuiti favorevoli (0.00) ai fini della verifica di stabilità	0.90	1.35	0.00	0.00	0.00
3	Permanenti (sfavorevoli) + Traffico concentrati (centrali) e distribuito + azione di frenamento (sfavorevole) ai fini della verifica di resistenza	1.10	0.00	1.35	1.35	1.35

L'arco e i piedritti risultano stabili in tutte e 3 le combinazioni di carico (sia a livello statico che sismico).

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

**Arco Ideale: 1 (1)**

**ANALISI STATICA**

**CCC 1 (3)**  
**Verifica Soddisfatta**

Moltiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 1: **n.d.**  
 - min. fra tutte le CCC: **0.524**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	n.d.		
Attrito (Taglio nei giunti)	n.d.		
Compressione della muratura	n.d.		
Trazione dei rinforzi			

**ANALISI SISMICA**

**Info** Moltiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.626, -X= 0.626**  
 Volta: +X= 0.626, -X= 0.626

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.975	0.975	0.168	0.316	0.316	0.168	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.626	0.626	0.200	0.975	0.975	0.200	
Compressione della muratura	0.975	0.975	0.165	0.313	0.313	0.165	
Trazione dei rinforzi							

**Verifica per SLV**

domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.292	2118	1.359	4.459
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

Indicatore di Rischio Sismico  $\zeta_E$   
 target = 0.800

OK

Il risultato n.d. (non disponibile) indica che i carichi considerati nella combinazione delle condizioni di carico non sono affetti da moltiplicatore. Infatti si tratta dei soli pesi propri.

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

---

**Arco Ideale: 1 (1)**

**ANALISI STATICA**

**CCC 2 (3)**  
**Verifica NON Soddisfatta**

**Info** Multiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 2: **0.524**  
 - min. fra tutte le CCC: **0.524**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	>> 1		
Attrito (Taglio nei giunti)	>> 1		
Compressione della muratura	0.524		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

**Info** Multiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.626, -X= 0.626**  
 Volta: +X= 0.626, -X= 0.626

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.975	0.975	0.168	0.316	0.316	0.168	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.626	0.626	0.200	0.975	0.975	0.200	
Compressione della muratura	0.975	0.975	0.165	0.313	0.313	0.165	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**

domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.292	2118	1.359	4.459
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

target = 0.800

**Indicatori di Rischio Sismico**

$\zeta_E$

OK

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

**Arco Ideale: 1 (1)**

---

**ANALISI STATICA**

**CCC 3 (3)**  
**Verifica NON Soddisfatta**

**Info** Multiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 3: **0.585**  
 - min. fra tutte le CCC: **0.524**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	>> 1		
Attrito (Taglio nei giunti)	>> 1		
Compressione della muratura	0.585		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

**Info** Multiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.626, -X= 0.626**  
 Volta: +X= 0.626, -X= 0.626

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.975	0.975	0.168	0.316	0.316	0.168	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.626	0.626	0.200	0.975	0.975	0.200	
Compressione della muratura	0.975	0.975	0.165	0.313	0.313	0.165	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**

domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

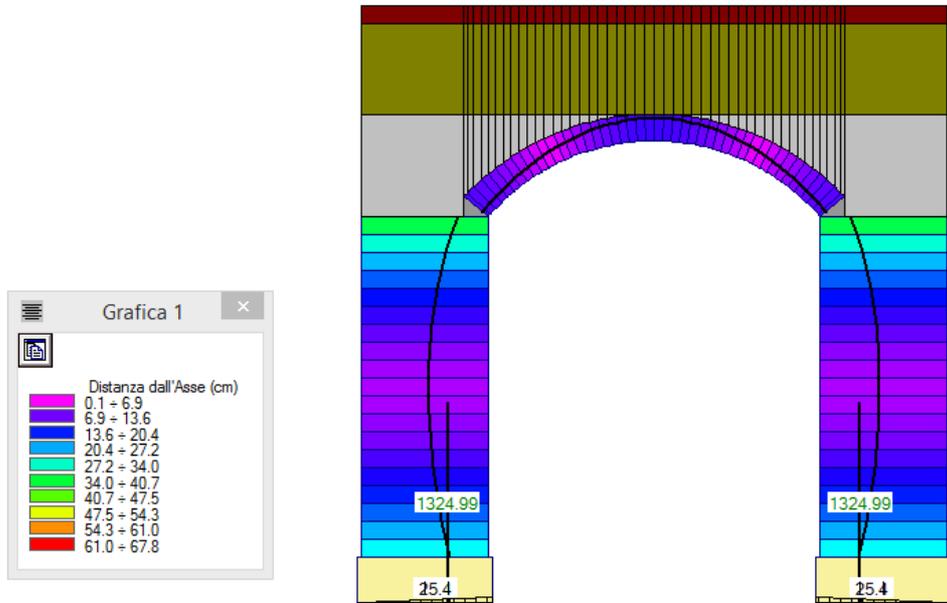
**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.292	2118	1.359	4.459
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

**Indicatore di Rischio Sismico**  $\zeta_E$   
 target = 0.800

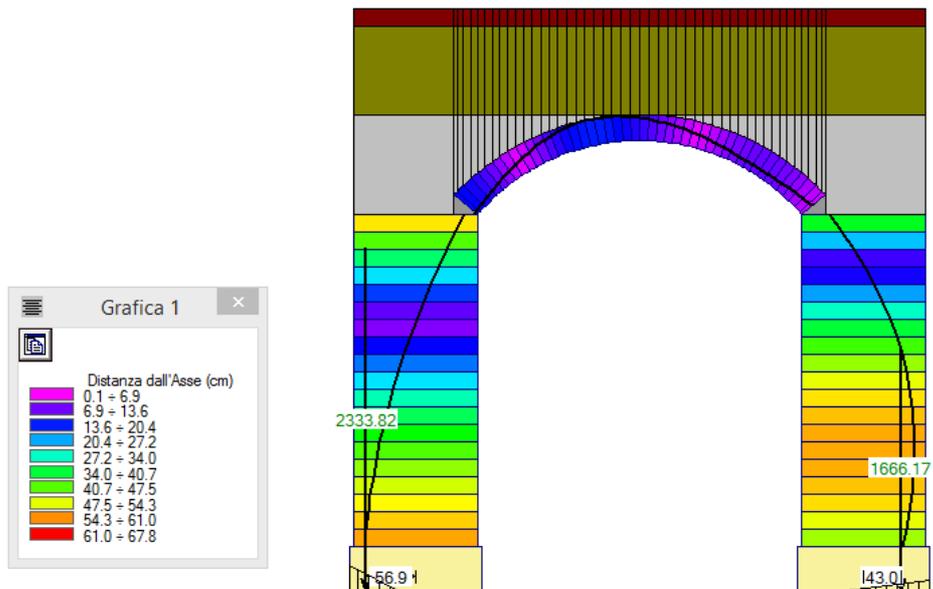
Curva delle pressioni: Combinazione di carico 1

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



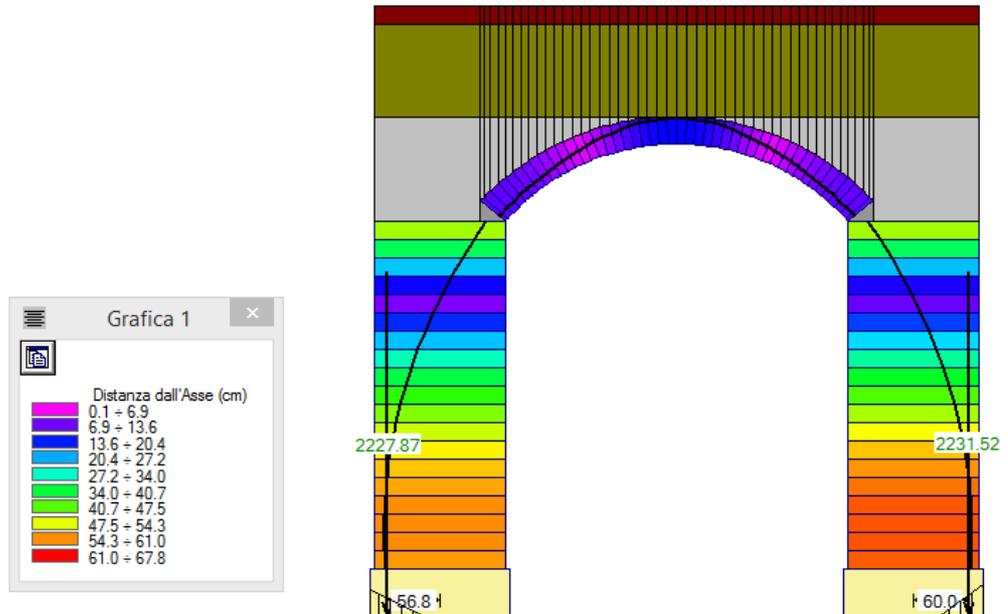
Curva delle pressioni: Combinazione di carico 2

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 2 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



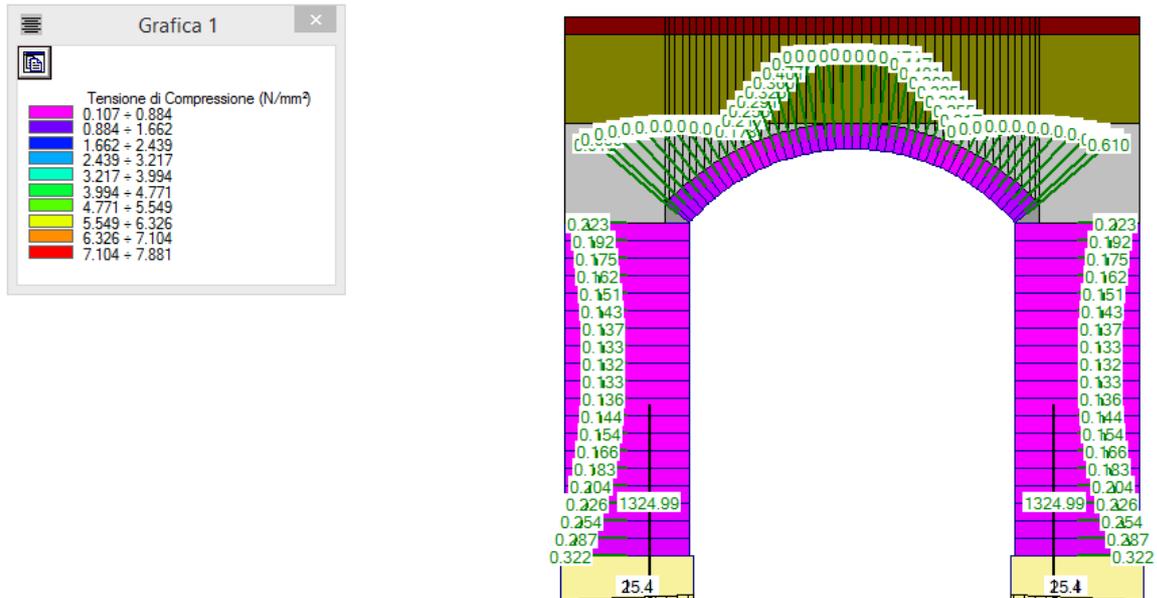
### Curva delle pressioni: Combinazione di carico 3

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 3 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



### Tensioni di compressione: Combinazione di carico 1

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max

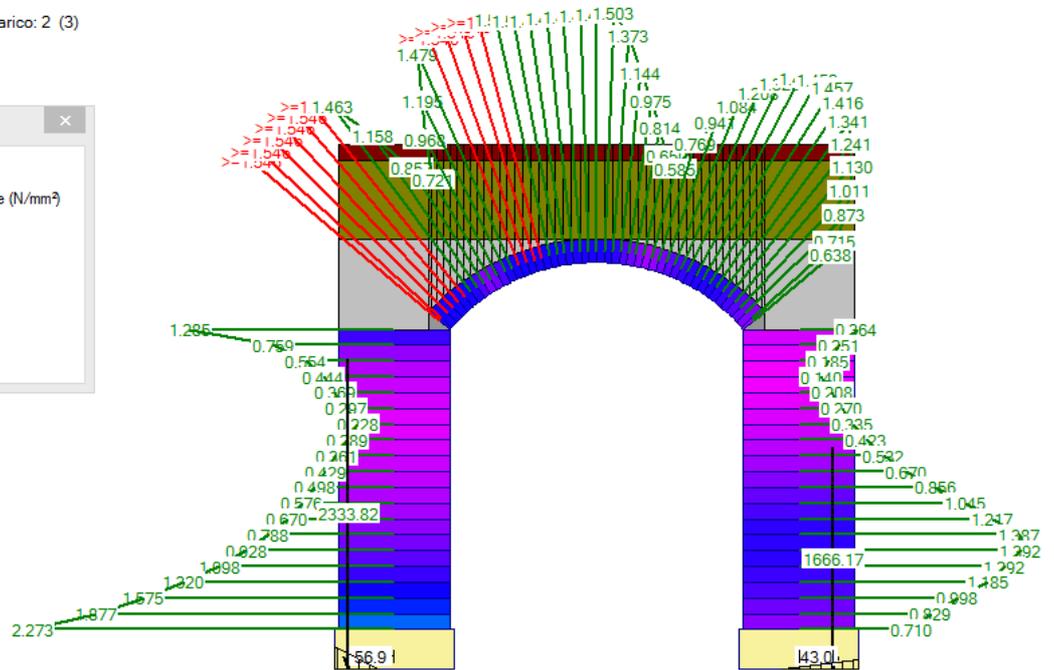
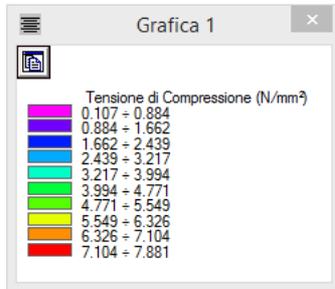


# Provincia di Prato

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)  
- Progetto definitivo-esecutivo -

## Tensioni di compressione: Combinazione di carico 2

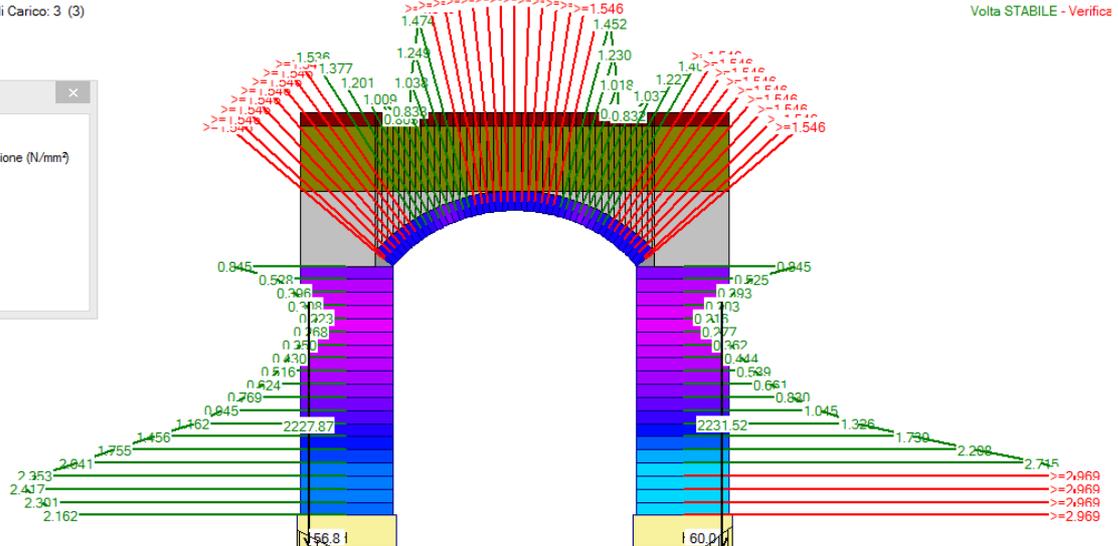
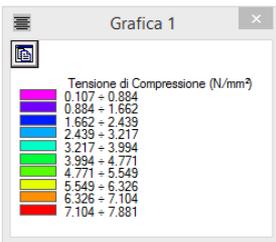
- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 2 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



## Tensioni di compressione: Combinazione di carico 3

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 3 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max

Arco STABILE - Verifica  
Volta STABILE - Verifica



**Provincia di Prato**

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*  
**- Progetto definitivo-esecutivo -**

**Stato rinforzato - azioni variabili da traffico (NTC2018)**

*Condizioni di carico elementari*

N°	Commento	Psi.2 (quasi pem.)	P.p. volta	P.p. rinf.sx	P.p. rinf.dx	P.p. sottof.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	Carichi concentrati	Car. aggiuntivi sui piedritti
1	Permanenti strutturali e non strutturali	1.00	✓	✓	✓	✓	✓				
2	Azioni variabili da traffico stradale: carichi concentrati in posizione eccentrica	0.00	■	■	■	■	■				
3	Azioni variabili da traffico stradale: carichi concentrati in posizione centrale	0.00	■	■	■	■	■				
4	Azioni variabili da traffico stradale: carichi distribuiti	0.00	■	■	■	■	■				
5	Azione di frenamento	0.00	■	■	■	■	■				

*Combinazione delle Condizioni di carico elementari*

N°	Commento	Molt.CCE n° 1	Molt.CCE n° 2	Molt.CCE n° 3	Molt.CCE n° 4	Molt.CCE n° 5
1	Solo permanenti in assenza di traffico: stabilità	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Permanenti (favorevoli) + Traffico eccentrico: concentrati sfavorevoli (1.35) e distribuiti favorevoli (0.00) ai fini della verifica di stabilità	0.90	1.35	0.00	0.00	0.00
3	Permanenti (sfavorevoli) + Traffico concentrati (centrali) e distribuito + azione di frenamento (sfavorevole) ai fini della verifica di resistenza	1.10	0.00	1.35	1.35	1.35

L'arco e i piedritti risultano stabili in tutte e 3 le combinazioni di carico (sia a livello statico che sismico).

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

**Arco Ideale: 1 (1)**

---

**ANALISI STATICA**

CCC 1 (3)  
**Verifica Soddisfatta**

Moltiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 1: **n.d.**  
 - min. fra tutte le CCC: **1.002**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	n.d.		
Attrito (Taglio nei giunti)	n.d.		
Compressione della muratura	n.d.		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

Info  
 Moltiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.510, -X= 0.510**  
 Volta: +X= 0.510, -X= 0.510

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	1.049	1.049	0.157	0.339	0.339	0.157	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.510	0.510	0.207	1.048	1.048	0.207	
Compressione della muratura	1.049	1.049	0.153	0.336	0.336	0.153	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**

domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.269	1645	1.252	3.464
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

Indicatore di Rischio Sismico  $\zeta_E$   
 target = 0.800

OK

Il risultato n.d. (non disponibile) indica che i carichi considerati nella combinazione delle condizioni di carico non sono affetti da moltiplicatore. Infatti si tratta dei soli pesi propri.

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

---

**Arco Ideale: 1 (1)**

**ANALISI STATICA**

**CCC 2 (3)**  
**Verifica Soddisfatta**

**Info** Multiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 2: **1.039**  
 - min. fra tutte le CCC: **1.002**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	>> 1		
Attrito (Taglio nei giunti)	>> 1		
Compressione della muratura	1.039		
Trazione dei rinforzi			

**ANALISI SISMICA**

**Info** Multiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.510, -X= 0.510**  
 Volta: +X= 0.510, -X= 0.510

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	1.049	1.049	0.157	0.339	0.339	0.157	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.510	0.510	0.207	1.048	1.048	0.207	
Compressione della muratura	1.049	1.049	0.153	0.336	0.336	0.153	
Trazione dei rinforzi							

**Verifica per SLV**

domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.269	1645	1.252	3.464
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

**Indicatore di Rischio Sismico**  $\zeta_E$

target = 0.800

OK

**Provincia di Prato**

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)

- Progetto definitivo-esecutivo -

**Rapporto di Elaborazione**

**Arco Ideale: 1 (1)**

---

**ANALISI STATICA**

**CCC 3 (3)**  
**Verifica Soddisfatta**

**Info** Multiplicatore verticale di collasso dell'arco:  
 - per la CCC 3: **1.002**  
 - min. fra tutte le CCC: **1.002**

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	>> 1		
Attrito (Taglio nei giunti)	>> 1		
Compressione della muratura	1.002		
Trazione dei rinforzi			

---

**ANALISI SISMICA**

**Info** Multiplicatore orizzontale di collasso dell'arco:  
**+X= 0.510, -X= 0.510**  
 Volta: +X= 0.510, -X= 0.510

Moltiplicatori di collasso	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx		Timpano
Tipo di Verifica	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X	
Stabilità (Equilibrio della struttura)	1.049	1.049	0.157	0.339	0.339	0.157	0.177
Attrito (Taglio nei giunti)	0.510	0.510	0.207	1.048	1.048	0.207	
Compressione della muratura	1.049	1.049	0.153	0.336	0.336	0.153	
Trazione dei rinforzi							

---

**Verifica per SLV**

domanda:  
 PGA,DLV = 0.215 g  
 TR,DLV = 475 anni

**Verifica Soddisfatta**

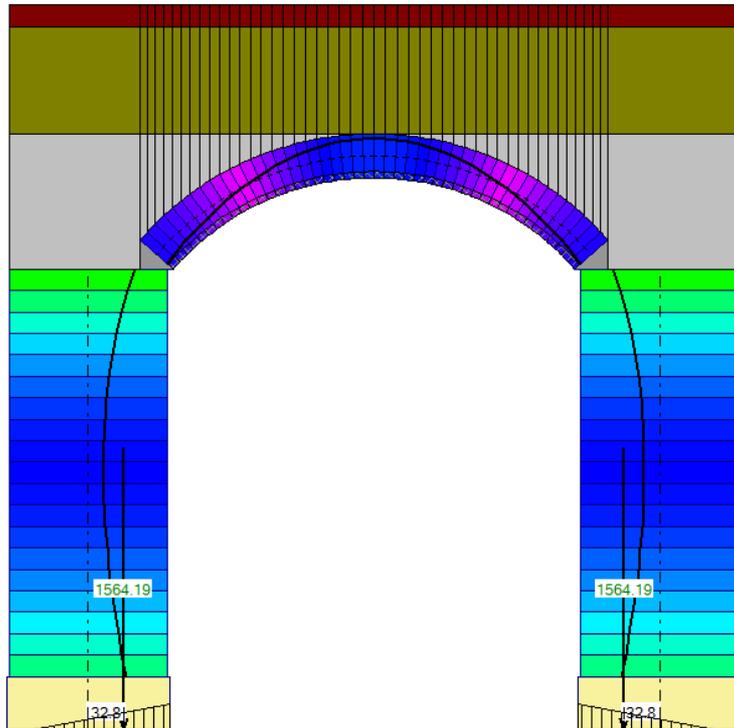
	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV
Arco	0.306	>=2475	1.425	5.211
Piedritti	0.269	1645	1.252	3.464
Timpano	0.197	624	0.917	1.314
Minimo	0.197	624	<b>0.917</b>	1.314

**Indicatore di Rischio Sismico**  $\zeta_E$   
 target = 0.800

OK

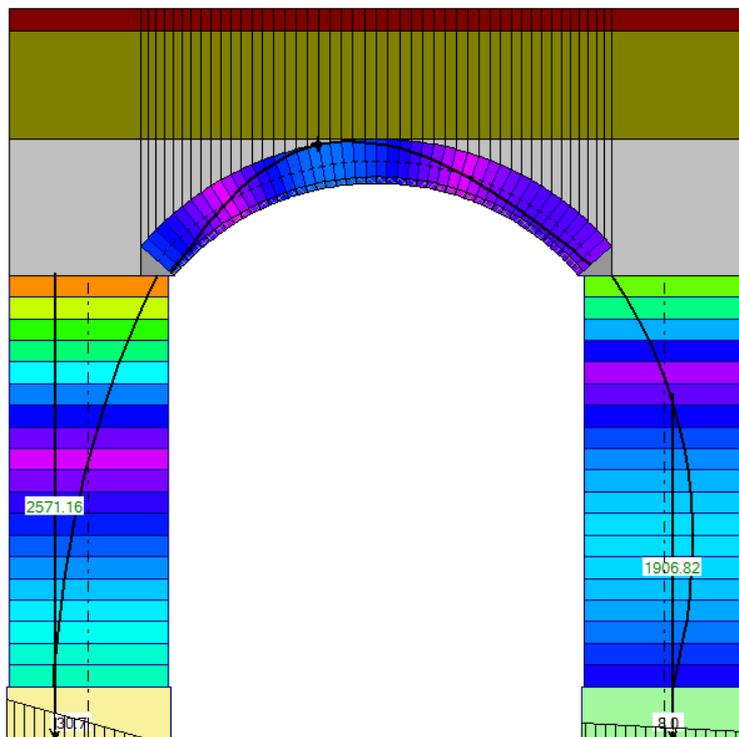
Curva delle pressioni: Combinazione di carico 1

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



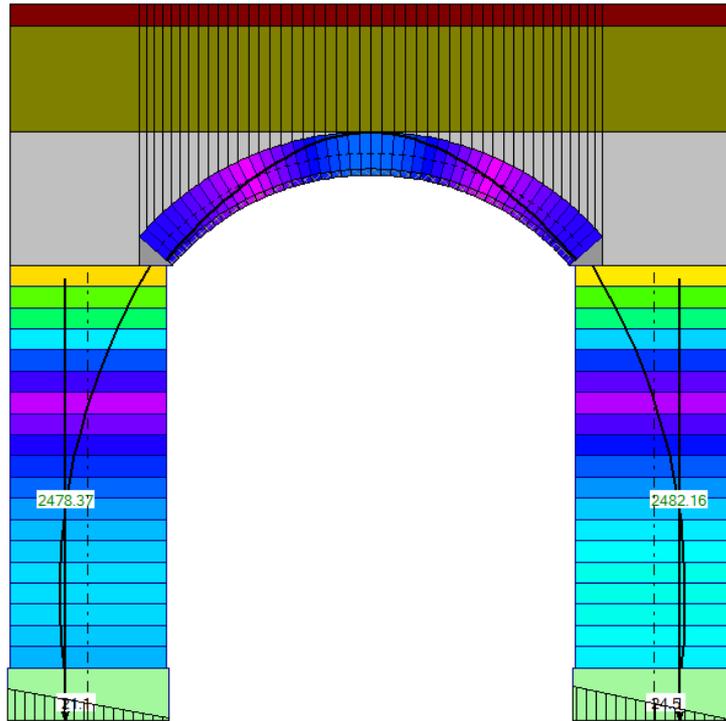
Curva delle pressioni: Combinazione di carico 2

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 2 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



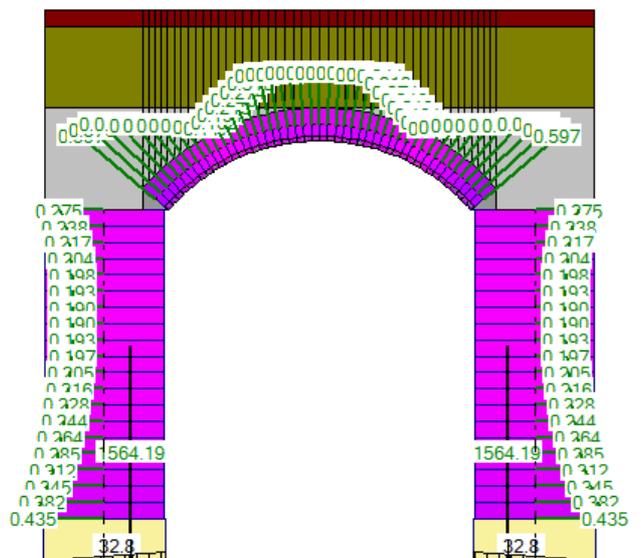
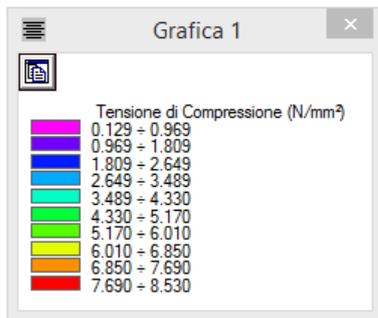
Curva delle pressioni: Combinazione di carico 3

- Curva delle Pressioni
- Combinazione di Condizioni di Carico: 3 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



Tensioni di compressione: Combinazione di carico 1

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 1 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



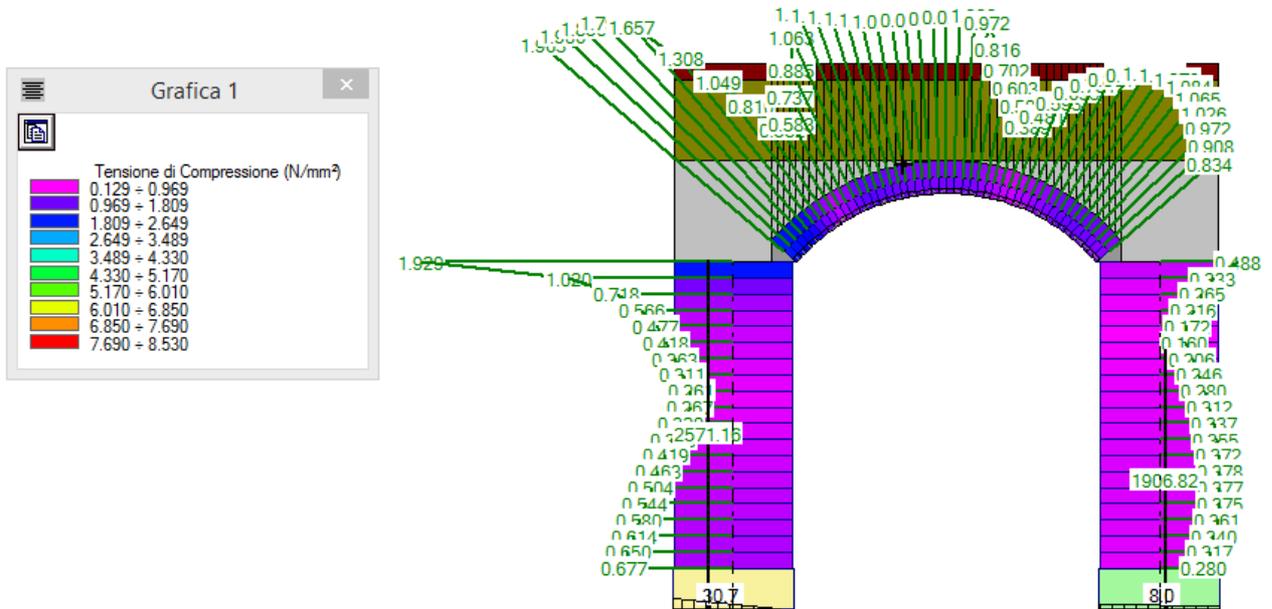
## Provincia di Prato

*Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al Km 65+900 nel Comune di Vaiano (PO)*

**- Progetto definitivo-esecutivo -**

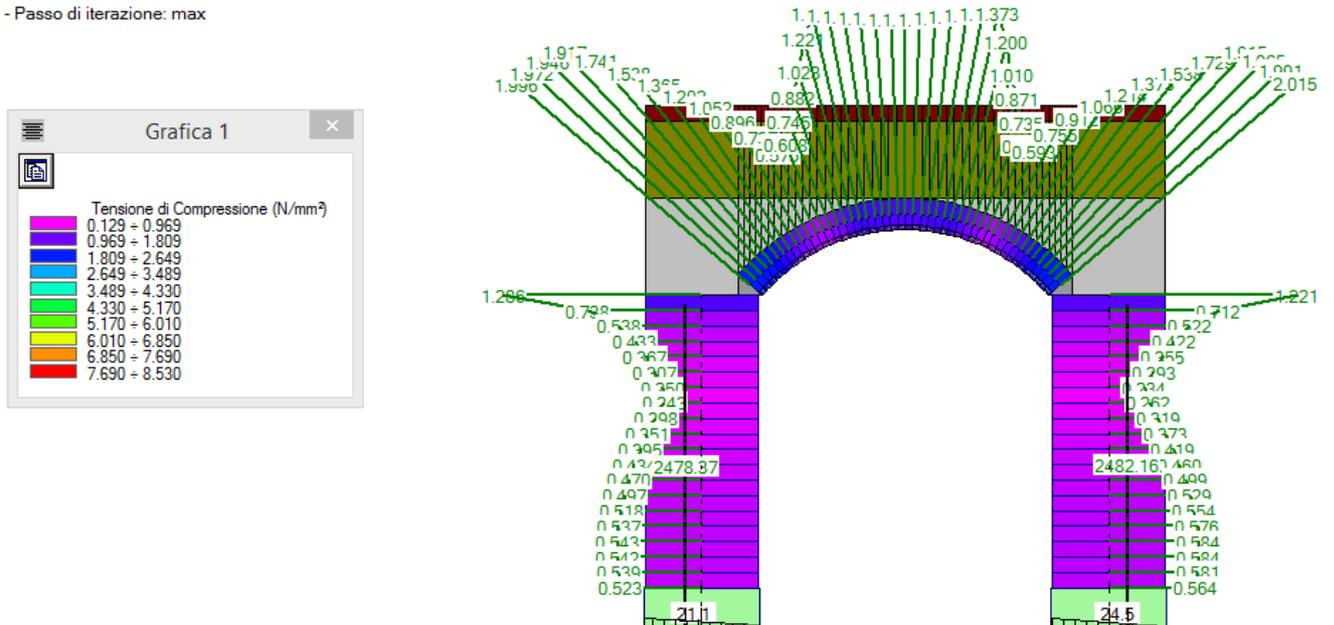
### Tensioni di compressione: Combinazione di carico 2

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 2 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



### Tensioni di compressione: Combinazione di carico 3

- Tensioni di Compressione
- Combinazione di Condizioni di Carico: 3 (3)
- Arco ideale corrente: 1 (1)
- Passo di iterazione: max



Firmato da:

**VANNUCCHI LUCA MARIO**

codice fiscale VNNLMR78T15G999R

num.serie: 72305832756773981138366410680024421190

emesso da: ArubaPEC S.p.A. NG CA 3

valido dal 18/09/2020 al 19/09/2023